

POWERED BY **Dialog**

---

## **INTERFEROMETER**

**Publication Number:** 2002-310612 (JP 2002310612 A) , October 23, 2002

**Inventors:**

- OSAKI YUMIKO
- SUZUKI AKIYOSHI
- SAITO KENJI

**Applicants**

- CANON INC

**Application Number:** 2001-109999 (JP 20011109999) , April 09, 2001

**International Class:**

- G01B-009/02
- G01J-009/02
- G01M-011/00
- G02B-005/10
- G02B-026/08

**Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an interferometer, capable of measuring an aspheric face shape with the same accuracy as a sphere and properly measuring various face shapes, and to provide a semiconductor exposing device using an optical element, which uses the interferometer. **SOLUTION:** This interferometer, measuring the face shape of the optical element by use of interference has two or more elastic deformation mirrors with variable face shapes capable of generating desired face shapes on the reference light side and additionally, is provided with a prototype standard. **COPYRIGHT:** (C) 2002,JPO

JAPIO

© 2003 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.  
Dialog® File Number 347 Accession Number 7442101

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2002-310612  
(P2002-310612A)

(43)公開日 平成14年10月23日(2002. 10. 23)

(51)IntCl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 0 1 B	9/02	G 0 1 B 9/02	2 F 0 6 4
G 0 1 J	9/02	G 0 1 J 9/02	2 G 0 8 6
G 0 1 M	11/00	G 0 1 M 11/00	L 2 H 0 4 1
G 0 2 B	5/10	G 0 2 B 5/10	B 2 H 0 4 2
	26/08	26/08	E
審査請求 未請求 請求項の数23 O L (全 16 頁)			

(21)出願番号 特願2001-109999(P2001-109999)

(22)出願日 平成13年4月9日(2001. 4. 9)

(71)出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72)発明者 大寄 由美子

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(72)発明者 鈴木 章義

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(74)代理人 100086818

弁理士 高梨 幸雄

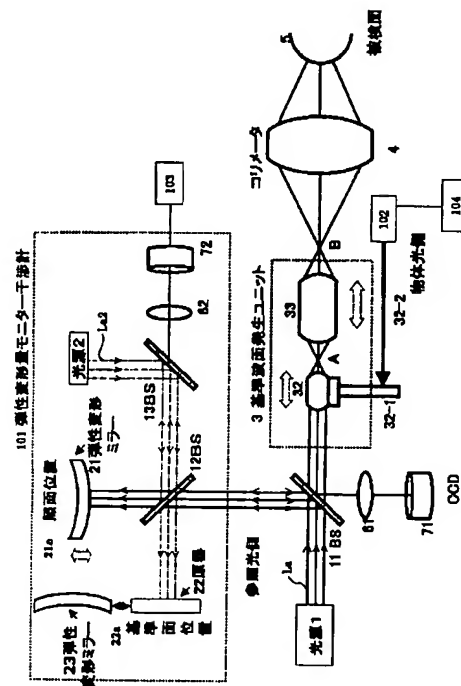
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 干渉計

(57)【要約】

【課題】 非球面の面形状を球面と同じ精度で測定が可能で、かつ種々の面形状の測定に適切に対応できる干渉計及びそれを用いられた光学素子を用いた半導体露光装置を得ること。

【解決手段】 干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計において、所望の面形状を作成することが出来る面形状が可変の弾性変形ミラーを参照光側に2つ以上又は更に原器を有すること。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計において、所望の面形状を作成することが出来る面形状が可変の弾性変形ミラーを参照光側に2つ以上又は更に原器を有することを特徴とする干渉計。

【請求項2】 参照光側には、前記2つ以上の弾性変形ミラーとあらかじめ素性の分かった原器の両者を有し、該弾性変形ミラーと原器、または2つ以上の弾性変形ミラーの間で弾性変形量モニター干渉計を形成し、該弾性変形ミラーの面変形量をモニターする面変形量モニタ手段を有することを特徴とする請求項1記載の干渉計。

【請求項3】 参照光側に配置した前記原器の面形状は不変であることを特徴とする請求項2記載の干渉計。

【請求項4】 前記弾性変形量モニター干渉計で用いる干渉用の光束の波長は、光学素子の面形状の計測に用いる光束の波長と異なることを特徴とする請求項2記載の干渉計。

【請求項5】 前記2つ以上の弾性変形ミラーを前記弾性変形量モニター干渉計でモニターしながら、それらを交互に変形制御することによって、所望の面形状に変形することを特徴とした請求項1記載の干渉計。

【請求項6】 前記原器を複数個有し、その中から所望の原器を選択することにより、交互に変形制御することを特徴とした請求項5記載の干渉計。

【請求項7】 干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計において、参照光側には面形状を変化させることが出来る2つ以上の該弾性変形ミラー、又は更に原器を有し、物体光側では面形状の測定基準となる波面を作成することが出来る基準波面発生ユニットを具備することを特徴とした干渉計。

【請求項8】 前記参照光側の弾性変形ミラーと、物体光側の基準波面発生ユニットを用い、両者の波面から所望の非球面波面を作成し、観察面において測定可能になるよう、両者の調整を行うことを特徴とした請求項7記載の干渉計。

【請求項9】 物体光側の基準波面発生ユニットが波面の動径(R)の4次を中心とした低次成分を生成し、参照光側の弾性変形ミラーでは動径(R)の6次以上の高次成分を生成することを特徴とした請求項8記載の干渉計。

【請求項10】 前記基準波面生成ユニットは球面収差発生手段を有することを特徴とする請求項7、8又は9記載の干渉計。

【請求項11】 前記球面収差発生ユニットは複数のレンズを有し、このうち2つのレンズのレンズ間の距離を調整することによって球面収差を発生していることを特徴とする請求項10記載の干渉計。

【請求項12】 前記基準波面生成ユニットはアルバレズレンズを有することを特徴とする請求項2乃至11のいずれか1項に記載の干渉計。

【請求項13】 前記アルバレズレンズは波面の動径の6次以上の波面成分を補正することを特徴とする請求項12記載の干渉計。

【請求項14】 前記アルバレズレンズは、それが補正する波面の動径の次数に対応して複数個設けられていることを特徴とする請求項13記載の干渉計。

【請求項15】 前記アルバレズレンズは波面の動径の4次以上の成分を調整することを特徴とする請求項7記載の干渉計。

【請求項16】 前記基準波面生成ユニットが可変的に波面を生成する際に、光軸上移動する光学部材の位置情報をモニタする位置情報モニタ手段を有することを特徴とする請求項7記載の干渉計。

【請求項17】 前記光学部材の移動量に応じて、発生する波面を演算手段で計算し、基準波面として用いることを特徴とする請求項16記載の干渉計。

【請求項18】 前記弾性変形量モニター干渉計で用いる干渉用の光束の波長は、光学素子の面形状の計測に用いる光束の波長と同じであることを特徴とする請求項2記載の干渉計。

【請求項19】 参照面位置に面形状が可変の第1の弾性変形ミラーを配置し、基準面位置に面形状が既知の原器を配置し、該第1の弾性変形ミラーの面からの第1波面と、該原器の面からの基準波面との干渉情報を用いて、該原器の面形状を基準に該第1の弾性変形ミラーの面形状を変化させる工程と、

次いで、基準面位置に面形状が可変の第2の弾性変形ミラーを配置し、該第1の弾性変形ミラーの面からの第1波面と、該第2弾性変形ミラーの面からの第2波面との干渉情報を用いて、該第1の弾性変形ミラーの面形状を基準に該第2の弾性変形ミラーの面形状を変化させる工程と、

次いで、該第1の弾性変形ミラーの面形状を所定量変化させた後に、該第1の弾性変形ミラーの面からの第1波面と、該第2の弾性変形ミラーの面からの第2波面との干渉情報を用いて、該第1の弾性変形ミラーの面形状を基準に該第2の弾性変形ミラーの面形状を変化させる工程Aを有し、該工程Aを必要に応じてn (nは1以上の整数) 回繰り返して行い、第1または第2の弾性変形ミラーの面から所望の波面を得ることを特徴とする波面の形成方法。

【請求項20】 波面の形成方法において、参照面位置に面形状が可変の第1の弾性変形ミラーを配置し、基準面位置に面形状が可変の第2の弾性変形ミラーを配置し、該第1の弾性変形ミラーの面からの第1波面と、該第2の弾性変形ミラーの面からの第2波面との干渉情報を用いて該第1の弾性変形ミラーの面形状を基準に該第2の弾性変形ミラーの面形状を変化させる工程と、

次いで、第1の弾性変形ミラーの面形状を所定量変化さ

せた後に、該第1の弾性変形ミラーの面からの第1波面と、該第2弾性変形ミラーの面からの第2波面との干渉情報を用いて該第1の弾性変形ミラーの面形状を基準に該第2の弾性変形ミラーの面形状を変化させる工程Aとを有し、該工程Aを必要に応じて $n$  ( $n$ は1以上の整数)回繰り返して行い、第1または第2の弾性変形ミラーの面から所望の波面を得ることを特徴とする波面の形成方法。

【請求項21】前記第1の弾性変形ミラーの面形状の所定量の変化は、第1波面と第2波面との干渉情報がモニタでき、制御できる範囲内であることを特徴とする請求項19又は20の参照波面の形成方法。

【請求項22】請求項1乃至21のいずれか1項の干渉計を用いて作成された光学素子を用いることによって作成されたことを特徴とする半導体露光装置。

【請求項23】請求項1乃至21のいずれか1項の干渉計を用いて光学素子の表面形状を測定することを特徴とする面形状測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は干渉計に関し、被検物として球面から非球面にわたる広範囲な面形状に対応し高精度で被検物の面形状を測定する際に好適なものである。

【0002】この他本発明は、マスク上のパターンを感光性の基板に転写し、半導体素子を製造する等のリソグラフィ工程で使用される投影光学系を構成する各光学素子（レンズ、フィルター等）の球面や非球面等の面形状を高精度に測定する際に好適なものである。

【0003】

【従来の技術】光学系におけるイノベーションは常に新しい光学素子、あるいは自由度の導入によってもたらされている。この中で非球面の導入による光学性能の改善は天体望遠鏡の昔から追及されてきた項目の一つであるが、近年、加工法や計測法の改善により、最も精度が要求される半導体素子製造用の半導体露光装置に導入されるところにいたった。

【0004】半導体露光装置における非球面の効果は大きく分けて3つある。第一の効果は光学素子の枚数の削減である。短波長化に伴い半導体露光装置の光学系には石英や蛍石といった高価な材料を使用せざるを得なくなってきた。非球面の効果による光学素子の枚数の削減は製作面及びコスト面で非常に効果が大きい。第二の効果はコンパクト化である。非球面の効果として光学系を小型化することが可能となって、やはり製作及びコストに対する影響が無視できないほど大きい。第3の効果は高性能化である。高NA化や、低収差化でますます要求精度の高くなっている光学系の性能を達成する手段として非球面の果たす役割は非常に重要となっている。

【0005】また、最近ではパターンの微細化の加速に

伴って次世代を担う露光方式としてEUVを用いる方式が本命視されている。EUV (Extreme Ultra Violet) では従来の光露光で用いられてきた光の波長の $1/10$ 以下の $13.4\text{ nm}$ という短い波長の光を用いて、反射結像光学系によりレチクル上の像をウェハに転写する。EUVの領域では波長が短すぎる為、光が透過する光学部材（透過材料）が存在せず、光学系はレンズを用いないミラーのみの構成となる。しかしながら、EUVの領域では反射材料も限られており、1面あたりのミラーの反射率は70%弱しかない。従って、従来のレンズを用いた光学系の様に20枚を越えるような光学系の構成は光利用効率の面から不可能で、なるべく少ない枚数で所定の性能を満足する結像光学系を構成しなければならない。

【0006】現在、EUVの実験機で用いられているのは3枚または4枚構成のミラー系でNAが0.1前後のものであるが、将来的には6枚のミラー系構成でNA 0.25から0.30前後のシステムがターゲットとなっている。このような高性能の光学系を少ない枚数で実現する手段として、実際に高精度な非球面を加工し、計測し、所定の面形状の光学素子を得ることが従来技術の壁を打ち破るために必須の技術となってきている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、高性能が得られる設計値が得られても従来の非球面の加工では非球面の計測精度に限界があり、所定の値以上の非球面量を持った面は加工できないという問題点があった。該所定の値は所望の精度で計測できる範囲によって定められる。よく知られているように、計測と加工は一体のものであり、良い計測精度がなければ精密な加工を行うことは不可能である。

【0008】球面形状の計測の技術は光学素子の計測で最も通常に用いられる技術であるため汎用の装置も製品として存在しており、絶えざる精度向上の努力により精度も大幅に向上している。しかしながら測定波長の10倍以上の大きな非球面量になると干渉縞の間隔が細くなりすぎて球面計測と同じ計測精度を出すことが困難となる。通常、大きな非球面の測定方法として機械的あるいは光学的なプローブを用いて非球面の表面を計測する方法が知られている。しかしながらプローブ法は種々の形状の非球面に対応できるフレキシビリティは備えているものの、プローブ自体の計測限界や、プローブの位置計測の安定性などに問題があり、干渉計測法ほどの精度を出すことが困難である。

【0009】本発明は非球面の面形状を球面と同じ精度で測定が可能で、かつ種々の面形状の測定に適切に対応できる干渉計及びそれを用いられた光学素子を用いた半導体露光装置の提供を目的としている。

【0010】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の干渉計

は、干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計において、所望の面形状を作成することが出来る面形状が可変の弾性変形ミラーを参照光側に2つ以上又は更に原器を有することを特徴としている。

【0011】請求項2の発明は請求項1の発明において、参照光側には、前記2つ以上の弾性変形ミラーとあらかじめ素性の分かった原器の両者を有し、該弾性変形ミラーと原器、または2つ以上の弾性変形ミラーの間で弾性変形量モニター干渉計を形成し、該弾性変形ミラーの面変形量をモニターする面変形量モニタ手段を有することを特徴としている。

【0012】請求項3の発明は請求項2の発明において、参照光側に配置した前記原器の面形状は不変であることを特徴としている。

【0013】請求項4の発明は請求項2の発明において、前記弾性変形量モニター干渉計で用いる干渉用の光束の波長は、光学素子の面形状の計測に用いる光束の波長と異なることを特徴としている。

【0014】請求項5の発明は請求項1の発明において、前記2つ以上の弾性変形ミラーを前記弾性変形量モニター干渉計でモニターしながら、それらを交互に変形制御することによって、所望の面形状に変形することを特徴としている。

【0015】請求項6の発明は請求項5の発明において、前記原器を複数個有し、その中から所望の原器を選択することにより、交互に変形制御することを特徴としている。

【0016】請求項7の発明の干渉計は、干渉を利用して光学素子の面形状を測定する干渉計において、参照光側には面形状を変化させることが出来る2つ以上の該弾性変形ミラー、又は更に原器を有し、物体光側では面形状の測定基準となる波面を作成することが出来る基準波面発生ユニットを具備することを特徴としている。

【0017】請求項8の発明は請求項7の発明において、前記参照光側の弾性変形ミラーと、物体光側の基準波面発生ユニットを用い、両者の波面から所望の非球面波面を作成し、観察面において測定可能になるよう、両者の調整を行うことを特徴としている。

【0018】請求項9の発明は請求項8の発明において、物体光側の基準波面発生ユニットが波面の動径(R)の4次を中心とした低次成分を生成し、参照光側の弾性変形ミラーでは動径(R)の6次以上の高次成分を生成することを特徴としている。

【0019】請求項10の発明は請求項7、8又は9の発明において、前記基準波面生成ユニットは球面収差発生手段を有することを特徴としている。

【0020】請求項11の発明は請求項10の発明において、前記球面収差発生ユニットは複数のレンズを有し、このうち2つのレンズのレンズ間の距離を調整することによって球面収差を発生していることを特徴として

いる。

【0021】請求項12の発明は請求項2乃至11のいずれか1項の発明において、前記基準波面生成ユニットはアルバレズレンズを有することを特徴としている。

【0022】請求項13の発明は請求項12の発明において、前記アルバレズレンズは波面の動径の6次以上の波面成分を補正することを特徴としている。

【0023】請求項14の発明は請求項13の発明において、前記アルバレズレンズは、それが補正する波面の動径の次数に対応して複数個設けられていることを特徴としている。

【0024】請求項15の発明は請求項7の発明において、前記アルバレズレンズは波面の動径の4次以上の成分を調整することを特徴としている。

【0025】請求項16の発明は請求項7の発明において、前記基準波面生成ユニットが可変的に波面を生成する際に、光軸上移動する光学部材の位置情報をモニタする位置情報モニタ手段を有することを特徴としている。

【0026】請求項17の発明は請求項16の発明において、前記光学部材の移動量に応じて、発生する波面を演算手段で計算し、基準波面として用いることを特徴としている。

【0027】請求項18の発明は請求項2の発明において、前記弾性変形量モニター干渉計で用いる干渉用の光束の波長は、光学素子の面形状の計測に用いる光束の波長と同じであることを特徴としている。

【0028】請求項19の発明の参照波面の形成方法は、参照面位置に面形状が可変の第1の弾性変形ミラーを配置し、基準面位置に面形状が既知の原器を配置し、該第1の弾性変形ミラーの面からの第1波面と、該原器の面からの基準波面との干渉情報を用いて、該原器の面形状を基準に該第1の弾性変形ミラーの面形状を変化させる工程と、次いで、基準面位置に面形状が可変の第2の弾性変形ミラーを配置し、該第1の弾性変形ミラーの面からの第1波面と、該第2弾性変形ミラーの面からの第2波面との干渉情報を用いて、該第1の弾性変形ミラーの面形状を基準に該第2の弾性変形ミラーの面形状を変化させる工程と、次いで、該第1の弾性変形ミラーの面形状を所定量変化させた後に、該第1の弾性変形ミラーの面からの第1波面と、該第2の弾性変形ミラーの面からの第2波面との干渉情報を用いて、該第1の弾性変形ミラーの面形状を基準に該第2の弾性変形ミラーの面形状を変化させる工程Aを有し、該工程Aを必要に応じてn(nは1以上の整数)回繰り返して行い、第1または第2の弾性変形ミラーの面から所望の波面を得ることを特徴としている。

【0029】請求項20の発明の参照波面の形成方法は、波面の形成方法において、参照面位置に面形状が可変の第1の弾性変形ミラーを配置し、基準面位置に面形状が可変の第2の弾性変形ミラーを配置し、該第1の弾

性変形ミラーの面からの第1波面と、該第2の弾性変形ミラーの面からの第2波面との干渉情報を用いて該第1の弾性変形ミラーの面形状を基準に該第2の弾性変形ミラーの面形状を変化させる工程と、次いで、第1の弾性変形ミラーの面形状を所定量変化させた後に、該第1の弾性変形ミラーの面からの第1波面と、該第2弾性変形ミラーの面からの第2波面との干渉情報を用いて該第1の弾性変形ミラーの面形状を基準に該第2の弾性変形ミラーの面形状を変化させる工程Aとを有し、該工程Aを必要に応じて $n$  ( $n$ は1以上の整数)回繰り返して行い、第1または第2の弾性変形ミラーの面から所望の波面を得ることを特徴としている。

【0030】請求項21の発明は請求項19又は20の発明において、前記第1の弾性変形ミラーの面形状の所定量の変化は、第1波面と第2波面との干渉情報がモニタでき、制御できる範囲内であることを特徴としている。

【0031】請求項22の発明の半導体露光装置は、請求項1乃至21のいずれか1項の干渉計を用いて作成された光学素子を用いることによって作成されたことを特徴としている。

【0032】請求項23の面形状測定方法は、請求項1乃至21のいずれか1項の干渉計を用いて光学素子の表面形状を測定することを特徴としている。

【0033】

【発明の実施の形態】通常の球面を測定する干渉計は精度及び測定再現性などに長足の進歩を見せている。最近では測定再現性で0.1nmに近づくという精度を見せるまでになっており、EUV時代の計測装置としても使用出来る位のレベルに達している。

【0034】これに対し非球面の面形状の計測は非球面自体の要望があったにも拘らず、誤差要因が多いと言うことで、精度も要求を満たしていなかった。本発明の実施形態は、この球面と非球面との乖離をなくすことを特徴としている。このため、本発明の実施形態では精度上の達成値を球面波にすることを目標として、球面計測用の光学配置を基礎に非球面を計測する構成を用いている。

【0035】尚、本発明において非球面とは球面又は平面でないことを意味している。

【0036】本発明の実施形態では非球面の波面を、参照光の波面と物体光の波面から、正確に合成して作っている。このとき参照光の波面は弾性変形ミラーで作成し、物体光の波面は光学系の収差をもとに発生させている。

【0037】参照光側は2枚の弾性変形ミラーとキャリブレーション用の原器を用いて自由に形状を作成し、所望の波面を作成している。

【0038】物体光側の基準波面の作成には様々な方法を用いることが出来るが、以下の考えをもとに光学系の

収差を発生させることにより、汎用性の高いシステムを構築することが出来る。

【0039】最近の半導体製造装置における高精度な駆動の実現、及び計算機の発達には基準位置の収差さえはつきりしておれば、該基準位置からオープンループで各エレメントを駆動した後に発生する収差を正確に知ることを可能とする。本発明は、この点を考慮して非球面が球面からのずれと言う形で定義される以上、該非球面を収差とみなし、該収差量を収差発生光学系(基準波面発生ユニット)で発生させることによって、所望の非球面形状を持つ波面を発生させている。

【0040】本実施形態では、任意の形状の非球面を専用の素子を設けることなく、汎用で検出できるようにしている。

【0041】本実施形態では、参照光側の波面を変形させるために2枚の弾性変形ミラー又は更に原器を有し、両者の面形状を変形させることによって、所望の参照面波面を作成している。図1に示したように、前記2枚の弾性変形ミラーは参照面位置と基準面位置に配置され、両者の干渉計(弾性変形量モニター干渉計)を有することで、弾性変形量を制御している。つまり、2枚の弾性変形ミラーの変形量を弾性変形量モニター干渉計によって把握し、該干渉計の精度内で2枚の変形量を交互に制御することで、最終的に所望の参照面形状を作成している。

【0042】さらに、このようにして参照光側の弾性変形ミラーを制御することで生成した波面と、物体光側で発生させた基準波面によって、種々の非球面計測を行っている。

【0043】参照光側で用いる2枚の弾性変形ミラー21、23は、例えば薄いガラス板をアクチュエーターやピエゾで制御することにより、自由にミラー形状(面形状)を変化させることが出来る構成となっている。この弾性変形ミラーを参照面として用いることにより、所望の参照波面を作成している。

【0044】この参照面としての弾性変形ミラーの変形量を制御するために、まず基準面位置にあらかじめ形状の把握できている原器22を配置する。そして、参照面に配置されたこの弾性変形ミラー21と、基準面位置に配置された原器22との干渉計(弾性変形量モニター干渉計101)を用いて、参照面の弾性変形ミラー21を原器22と等しい形状にしている。

【0045】このような原器と弾性変形ミラー21とのキャリブレーションを行ったあと、基準面位置に配置された原器22を弾性変形ミラー23に変更し、2枚の弾性変形ミラー21、23の形状を干渉計で把握する。そして、両者の面形状を干渉計で計測できる範囲内で交互に変化させ、最終的に参照光の弾性変形ミラー21が所望の波面を作成できるようにする。

【0046】この弾性変形量モニター干渉計に用いる波

長は、非球面の面形状を計測する波長と異なる波長である。これによって、弾性変形量をモニターしながら非球面形状の計測を行うことを可能としている。

【0047】尚、弾性変形ミラーの面形状のモニターで計測波長と同一の波長の光を用いても良い。

【0048】このように参照光側で弾性変形ミラーを2枚用い、交互に変形をつづけていくことによって、球面からのずれが大きい場合も所望の波面を自由に作成している。

【0049】一方、物体光側では、非球面計測の基準となる波面を作成している。この基準波面は光学系の収差を基準波面作成ユニットによってコントロールすることで作成している。

【0050】次に物体光側で光学系の収差によって基準波面を作成する場合に関して説明する。基準波面作成ユニットでは、非球面を特徴づける非球面形状の各次数を、球面収差の発生やアルバレズレンズの組み合わせなどで独立に制御する。

【0051】対象となる光学系は共軸であることが多いことから、光学素子は回転対称性を持っていることが多い。従って球面からのずれは光軸からの距離（動径）を $R$ とした時、動径 $R$ の4乗以上の偶数項で表わされる場合が通常である。特に重要なのは動径 $R$ の4乗の項であるが、4乗の項は収差と言うと球面収差に相当する。そのため、基準波面作成ユニットでは、球面収差を故意に所望の値発生させて、非球面の形状が持っている成分に対応する波面を形成させる。但し、一般に非球面は動径 $R$ の4乗だけでは表わすことができない場合が多いため、4乗以上の高次の項に関しては各次数ごとにアルバレズレンズを利用して制御できる収差を発生させることで、所望の非球面を構成する波面を合成することも可能であるし、また、アルバレズレンズで4次以上の総ての波面を発生させるようにしている。

【0052】本実施形態では、参照光側と物体光側でそれぞれ非球面波面を作成し、この波面をもとに観察面で波面を干渉させることによって、任意の非球面形状の測定を可能としている。したがって、参照光の波面を2枚の弾性変形ミラーを交互に変形させることによって所望の波面を作成することが出来、さらにその変形量を高精度にモニター出来ること、物体光側には、非球面形状測定の基準波面を作成する「基準波面発生ユニット」を具備することを特徴としている。

【0053】このように、本実施形態では、参照光側で2枚の弾性変形ミラー、物体光側で基準波面発生ユニットを用いることによって、両者の波面を調整して合成するため、種々の非球面波面を作成している。従って、装置自体を基準として様々な非球面を測定することが出来るために、極めて汎用性を持つ装置を構成している。また、汎用性があるにも拘らず干渉計測法であるために球面を測定するのと同じ精度が達成できるため、従来より

高精度で非球面の面形状を測定することが困難であった非球面の面形状を高精度に測定することができる。

【0054】次に本発明の実施形態を図面を用いて説明する。

【0055】[実施形態1] 図1は本発明の実施形態1の要部外略図である。図1は被検面としての非球面の表面形状測定法を示している。本実施形態1は参照光側に2枚の弾性変形ミラー21、23を用い、物体光側に基準波面発生ユニット3を用い、両者の非球面波面を用いて、被検面5の非球面形状を測定するものである。そして、特に参照光側の弾性変形ミラー21、23では非球面の高次（波面の動径 $R$ の6乗以上）の波面を作成し、物体光面側の基準波面作成ユニット3では球面収差を発生させ、動径 $R$ の4乗以上の基準波面を作成する場合を示している。

【0056】図1に示す干渉計は通常トワイマン・グリーン干渉計といわれる構成をとっている。レーザ光源1からコリメートされた光（平行光）が干渉計に入るところから図は始まっている。レーザ光源1としてはHeNe、Ar、HeCd、YAGの高調波など公知のレーザを用いることができる。

【0057】コリメートされてきた光Laは先ずビームスプリッタ11で波面が分割され、参照光として参照面を形成する弾性変形ミラー21へ行く参照光路と、被検面5のある物体光路とに分割される。その後、参照光と物体光をビームスプリッタ11で合波して、レンズ61を介してCCD等の撮像手段71上に干渉情報を形成し、これより被検面5の面形状を測定している。

【0058】まず、本実施形態の最も特徴となる、参照光側の光路について説明する。

【0059】基準となる原器22と、2枚の弾性変形ミラー21、23を用い、弾性変形ミラー21、23を交互に調整し変形することで所望の波面を作成するところが、本実施形態の最も特徴となるところである。

【0060】参照光路の光はビームスプリッタ12を通過し、弾性変形ミラー（参照ミラー）21で反射して、再びビームスプリッタ11に戻ってくる。高精度な計測精度を得るためには位相計測をすることが必須となるのでPMI（Phase Measuring Interferometer）と言われる手法が適用される。例えば図1の構成では参照ミラー21が波長オーダで微小駆動される例が示されている。

【0061】この弾性変形ミラー21、23は、いずれも図2に示したように、例えば薄いガラス板21aをアクチュエーターやピエゾ等の駆動部材21bを駆動手段21cで制御することにより、自由にミラー形状（反射面形状）を変化させ、所望の非球面波面を作成することが出来るものである。

【0062】この参照面として用いる弾性変形ミラー21を所望の形状へ制御するためには、この変形量を精度良くモニターする必要がある。ピエゾやアクチュエータ



一の精度では計測精度が不十分な場合を考慮して、本システムは、図1に示すように、参照面の変形量をモニターするためのもう1つの干渉計(変形量モニター干渉計)101を参照面側に具備している。そして、弾性変形ミラー21からの光束と原器22または弾性変形ミラー23からの光束との干渉によって、弾性変形ミラー21の面形状を制御する。図3は弾性変形量モニター干渉計の説明図である。図3に示すように、基準面位置には原器である平面ミラー22と弾性変形ミラー23が交換できるようにになっている。

【0063】被検面5の非球面形状を計測しながら、参照面の弾性変形ミラー21の変形量を随時モニターするためには、非球面の計測波長とは異なる波長を用いることが必要である。

【0064】非球面形状と弾性変形量の測定精度を比較すると、非球面形状の方がより高い精度が要求される。一般的に、波長の短い方が精度良く測定することが出来るため、光源1は変形量モニター干渉計101側の光源2より波長が短いレーザー光源を用いる場合を図1に示している。

【0065】また、非球面計測と変形量モニターに異なる波長を用いることで、リアルタイムに測定することが出来るため、ヒエゾやアクチュエーターの不安定成分を常に検出し、フィードバックをかけることが出来るメリットもある。

【0066】尚、随時モニタする必要がないときは光源1と光源2からの光束の波長は同一であっても良い。

【0067】以下に、図3の弾性変形量モニター干渉計について説明する。レーザー光源2からの光La2をコリメートし、ビームスプリッタ13で反射させたのち、もう1つのビームスプリッタ12で、波面を参照面位置に置かれた弾性変形ミラー21側と、基準面位置22側とに分割する。弾性変形ミラー21からの光は再びビームスプリッタ12に戻って反射し、基準面位置22から反射した光はビームスプリッタ12を透過する。この2つの波面を干渉させ、ビームスプリッタ13、レンズ62を介して、CCD72で干渉情報を検出して、弾性変形ミラー21の弾性変形量を面変形量モニター手段103でモニターする。ここで用いたビームスプリッタ12は、弾性変形量のモニターに用いる光源2からの光束の波面は2つに分割し、非球面計測に用いる光源1からの光束の波長は透過するものである。

【0068】次に、参照面として用いる弾性変形ミラー21を、所望の面形状に変化させる手順に関して、図4を用いて説明する。

【0069】まず最初に、参照面位置21aには弾性変形ミラー21、基準面位置22aにはあらかじめ形状が分かっている原器22を配置する。ここでは原器22の1例として平面ミラーを用いる場合を示したが、あらかじめ形状が分かっている球面や非球面を原器として用い

ることも勿論可能である。

【0070】そして、両者の形状をモニターすることが出来る干渉計(弾性変形量モニター干渉計101)を用いて、参照面の弾性変形ミラー21の形状を原器22と一致させることによって、弾性変形ミラー21のキャリブレーションを行う。

【0071】弾性変形ミラー21の面形状のキャリブレーションを行ったあと、基準面位置22aに配置された原器22を弾性変形ミラー23に交換し、2枚の弾性変形ミラー21、23の形状を干渉計で把握する。そして、基準面位置22aにある弾性変形ミラー23の面形状を制御し、先ほど原器22とのキャリブレーションを行った参照面位置にある弾性変形ミラー21の面形状と一致させる。

【0072】これで、弾性変形ミラー21、23の双方の面形状が原器22と等しくなる。

【0073】次に、参照面位置21aの弾性変形ミラー21を所望の非球面波面に近づけるよう、アクチュエーターの制御によって面形状を変形させる。この変形量は参照面と基準面の干渉(弾性変形量モニター干渉計101)によってモニターすることが出来、また制御できる変形量は基準面と参照面との干渉計で計測できる範囲内となる。

【0074】さらに、基準面位置22aの弾性変形ミラー23の面形状を制御し、参照面位置21aの弾性変形ミラー21と同じ表面形状にする。

【0075】同様に、参照面位置21aの弾性変形ミラー21の面形状を所望の非球面波面に近づけるよう制御し、その後、基準面位置22aの弾性変形ミラー23の面形状を前記弾性変形ミラー21と同じ表面形状になるよう制御を交互に繰り返す。

【0076】そして、最終的に参照面位置21aに配置した弾性変形ミラー21の面形状が所望の非球面波面になるまで、上記のように交互に変形をつづける。

【0077】このように2枚の弾性変形ミラー21、23の面形状を交互に変形することによって、球面からのずれが大きな波面であっても干渉計を用いながら精度良く変形を行うことができ、最終的に所望の波面を作成している。

【0078】2枚の弾性変形ミラー21、23の変形手法は図4に限ったものではなく、両者を交互に変形する際、1回の変形量や繰り返し回数は非球面形状によって異なる。

【0079】この2枚の弾性変形ミラーの21、23の面形状の変形量をモニターするための弾性変形量モニター干渉計101に用いる光源2からの光束の波長は、非球面の面形状計測の光源1からの光束の波長とは異なっている場合、参照光側での弾性変形量のモニターおよび変形量の制御と、被検面5の面形状の測定を同時に行うことが出来る。非球面形状と弾性変形量の測定精度を比



較すると、非球面形状の方がより高い精度が要求される。一般的に、波長の短い方が精度良く測定することが出来るため、光源1からの波長は光源2からの波長より短いレーザー光源を用いるのが良い。尚、光源1からの光束と光源2からの光束の波長は同一であっても良い。

【0080】本実施例では原器22として平面ミラーを用いる場合を説明したが、平面から所望の非球面波面を作成するには変形量が多すぎて、時間がかかってしまう。この原器は平面ミラーに限らず、球面ミラーや非球面ミラーなど、形状が把握できているものであればどんなものでも良い。そこで、図5に示したように、弾性変形ミラー23、1つと複数の原器を基準面位置22aに配置できるようなシステムにし、最終的に作成したい波面に合わせて原器を1つ選択することも可能である。

【0081】例えば、球面原器を複数用意しておき、測定したい球面の曲率半径に対応した原器を選択し、球面をもとに所望の非球面波面を作成しても良い。

【0082】本システムでは最初のキャリブレーション時に原器22と弾性変形ミラー21、23の表面形状を一致させる。したがって、最も形状に近い原器を用いることで、所望の形状に変形するための変形量を小さくすることが出来、2枚の弾性変形ミラーを交互に制御する回数が少なくなるため、より簡便に所望の参照波面を形成することが出来る。

【0083】このように2枚の弾性変形ミラーと原器からの光束に基づく干渉から、参照面位置に配置した弾性変形ミラー21の面形状を決定することで、所望の参照波面を自由に作成している。

【0084】次に、図1物体光側の光路について説明する。

【0085】ビームスプリッタ11で波面が分割され、物体光路に分けられた光は基準波面発生ユニット3に入射する。基準波面発生ユニット3の構成は種々考えられるが、図1の構成では主として波面の動径Rの4乗に対応する波面を、基準波面発生ユニット3の中にある光学系の光軸方向の位置を調整し、球面収差を発生させている。

【0086】ここではまず球面収差の発生法について説明する。図1中32は第1のレンズ33は第2のレンズである。レンズ32は図1の構成ではビームスプリッタ11から入射してくる平行光を点Aに結像する作用をする。レンズ32は軸上付近のごく小さい範囲だけ収差を補正しておけばよいので、収差量をきわめて小さく抑えることができる。またたとえレンズ32の収差が微小のこっていても、微小量であるためオフセット処理でキャンセルすることが可能である。以降の説明ではレンズ32の収差は無視することができるとして話を進める。

【0087】レンズ33は有限物点に対して収差の良く補正されたレンズである。例えば顕微鏡の対物レンズのようなもので、所定の物像位置関係で収差が良く補正さ

れている。該レンズ33の結像は従って、所定の関係から外れた位置設定になっていると収差を多く発生する。干渉計の光学配置では軸上しか使用しないので、所定の関係からずれて発生する収差は光軸に関し回転対称な収差、即ち球面収差となる。従ってレンズ32によって形成される結像点Aの位置がレンズ33の収差が補正されるべき物点の位置と一致しておれば、レンズ33を通過後に形成される結像位置における収差は極めてよく補正されている。

【0088】図中Bで示されている点は後続のコリメータ4の収差が最もよく補正されている位置である。点Bの位置が点Aのレンズ33による結像位置に合致すると、図1を構成する総ての光学要素が最も収差の小くなる配置されたことになる。このようにレンズ32、33、コリメータ4が収差の最も良く補正される状態となった時、図1の干渉計は「基準状態」に配置されていると定義する。

【0089】基準状態についての記述を先に進めると、レンズ33によって点Bに結像した光は次いでコリメータ4に入射し、コリメータ4によって発散波を収束波に変換されて被検物体5に向かう。コリメータ4は結像点Bに対して収差補正されている光学系であるため、収束波は収差のない（収差の極めて少ない）波面となって被検物体5に向かう。即ち基準状態は球面の測定を行うのに適した配置となっている。基準状態で被検物体としてあらかじめ素性のわかっている基準球面を配置すればレンズ32からコリメータ4にいたる測定光学系の収差のオフセットを求めることができる。即ち、基準状態は被検面として球面の測定に適した状態であり、なおかつ測定系のオフセットをとる役割を果たす。なお、オフセットの取り方については「Optical Shop Testing」(Malacara編)等に詳しいので、ここでは詳述しない。

【0090】次いで非球面の測定について説明する。本発明者が測定対象となる非球面の形状を分析したところ、非球面の形状は回転対称型の光学系の場合、波面の動径Rの4乗、6乗、8乗、10乗、…の順番に低次から近似を行っていくことが効率的なことが判明した。従って、物体光側の基準波面と参照光側の弾性ミラーによる波面を作成する際、測定できる範囲内に入るまで動径Rの4乗、6乗、8乗、10乗、…の順番に低次から波面を合成している。

【0091】図1に示した実施形態1では、物体光側において基準波面発生ユニット3で球面収差を故意に発生させ、非球面の主に動径Rの4乗の項を発生させ(正確には動径Rの4乗だけでなく動径Rの4乗以上も発生する)、参照光側において弾性変形ミラーを用いて動径Rの6乗以上の高次を発生させ、両者の波面によって種々の非球面波面を作成できる構成となっている。

【0092】ここで物体光側の基準波面発生ユニット3による球面収差の発生は以下の手順で行われる。レンズ

33は前に説明したように、レンズ32の結像点Aが所定の物点位置にきた時のみ点Bでの収差が補正される。従って、レンズ32を光軸方向に動かして点Aの位置をレンズ33の収差が取れる位置からずらすと、結像点の位置は点Bからずれて、しかも球面収差が発生したものとなる。

【0093】この間の様子を示したのが図6である。図6(a)はレンズ33の収差が良く補正されるレンズ配置で、レンズ32によって形成される結像位置点Aがレンズ33の収差の取れている点33pに結像し、点33qに結像している。基準状態では点33qがコリメータ4の収差の補正されている物点位置Bに一致している。

【0094】次いで図6(b)に示すようにレンズ32を右に動かすことによって結像位置Aを点33p1の位置にずらす。ずらした結果、レンズ33による結像位置は点33q1に移動する。点33p1と点33q1は収差の取れた関係からずれているので球面収差が発生している。本実施形態では、この球面収差を非球面の基準波面に利用している。コリメータ4との関係からレンズ32とレンズ33を一体として左側に移動すれば、レンズ33による結像位置を球面収差が発生した状態を保ったままで点Bに一致させることができる。一体として移動できるのはレンズ32に入射する光束が平行光束であることによる。

【0095】基準波面発生ユニット3による球面収差の発生量は、レンズ32の結像点の移動量及び、移動方向で量及び符号の双方をコントロールすることができる。従って、動径Rの4乗の項は可変量として扱うことができる。本実施形態で目的の1つとするのはオングストロームオーダーまでの測定精度が可能な高精度な測定である。厳密にいうとレンズ32、33の位置調整によって発生する収差は動径Rの4乗の項だけではないが、レンズ32、33の位置さえ精密にわかっているならば、その値をコンピュータで計算することにより、高次の項まで正確に発生する収差を計算することができる。計算された値は高次項も含め、基準波面の値として用いられる。

【0096】したがって、参照光側は2枚の弾性変形ミラー21、23と原器22とから、弾性変形ミラー21の面形状を所望に変化させることで非球面の波面作成を作成し、物体光側ではレンズ32、33の位置調整による球面収差の発生を行い、非球面形状が測定できる範囲内に入るまで動径Rの4乗、6乗、8乗、10乗、…の順番に低次から波面を合成していくことで、所望の非球面波面を作成し、これらの参照光側と物体光側の波面を調整することによって、種々の非球面形状の測定を可能としている。

【0097】また、図1に示した実施形態1では、レンズ32の位置検出を行うために、レンズ32の鏡筒の位置をモニタするレーザ干渉計(位置情報モニター手段)102を用いている。具体的にはレンズ32の鏡筒を移

動させる機械部品32-1に位置をモニタするレーザ干渉計102からの光束32-2が入射している。レーザ干渉計の代わりにマグネスケールやエンコード等の位置検出素子を使うことも可能で、該モニタ機能を用いて演算手段104で計算を行うことにより発生する収差量を正確に知ることができる。

【0098】一方、レーザ干渉計102でモニタできるのはあくまで相対変位量なので、基準となる位置は別途決定する必要がある。基準となる位置を決定するためには前述の「基準状態」を利用する。光学系を基準状態におき、被検物体位置に素性のわかっている基準球面を置く、この状態で収差が予め分かっている基準球面のデータに最も近くなるようにレンズ32、33、コリメータ4、基準球面の位置を調整する。調整した後にある許容値以内に入った状態で、レンズ32、33、コリメータ4の調整を終了する。この位置が位置検出素子(レーザ干渉計102)の基準位置となる。該基準位置からの駆動量が与える収差の発生量は、駆動量の測定精度から定まる精度で正確に計算することができる。レーザ干渉計102を用いれば駆動精度はナノメートルオーダーまで可能であるため、発生する収差の値を知るには十分な精度である。

【0099】図1にはレンズ32にしか位置検出素子が示されていないが、その他の光学素子33、4、21などにも同様に位置検出素子が配置されている。

【0100】さらに、本実施形態1において、物体光側ではレンズ32、33の位置調整による球面収差の発生によって基準波面を作成する場合を説明した。球面収差の発生方法はこれに限ったものではなく、図7に例として示したような方法でも良い。本実施形態では基準波面発生ユニット3内のレンズ133が平行光入射に対して収差を発生させる機能を持っている。

【0101】図7(A)はレンズ133を構成する2つのレンズ133a、133bの間隔dを制御することによって球面収差の発生量を制御する方式である。間隔dの変化に伴う結像位置の変化はレンズ133全体を移動することによって調整する。また間隔dの基準位置は先の実施形態と同じくレンズ133とコリメータ4、基準球面を用いて、同じような基準状態を求めることによって行う。

【0102】図7(B)はレンズ133の後側の位置に厚さを連続的に変えることのできる全体として平行平板となる楔形の2つのプリズム部材134、135を挿入した例である。平行平板の厚さを可変にするには2枚の同じ角度を持つウェッジ134、135を組み合わせ、光軸0aと直交する方向に動かすことによって目的を達成することができる。この場合の基準位置の調整も先の実施形態と同じく基準状態をいったん達成することによって求めることができる。

【0103】図7(C)は厚さの異なる複数の平行平板

を離散的に変えて球面収差を制御する例である。この場合には該平行平板の厚さを正確に測定することを利用して、発生する球面収差を求めることができる。

【0104】本実施形態では以上の構成により弾性変形ミラー21を介した参照波面と、基準波面発生ユニット3、コリメーター4を通過し、被検面5で反射し、元の光路を戻った被検波面(信号波面)と、をビームスプリッター11で合成し、レンズ61によってCCD等の撮像手段71上に干渉波面を形成し、該撮像手段71からの信号(干渉信号)によって被検面5の面形状(面情報)を測定している。

【0105】[実施形態2] 図8は本発明の実施形態2の要部概略図である。

【0106】本実施形態は非球面の測定法を示している。本実施形態2は、参照光側に2枚の弾性変形ミラー21、23と原器22、物体光側に基準波面発生ユニット3を用い、両者の非球面波面を用いて被検面5の非球面形状を測定するもので、基本的な構成は実施形態1と同じである。

【0107】本実施形態が実施形態1と異なるところは、物体光側の基準波面作成ユニット3で球面収差を発生することにより動径Rの4乗以上、さらにアルバルツレンズ31を用い動径Rの6乗の波面を作成し、参照光側の弾性変形ミラー21では動径Rの8乗以上の高次の波面を作成することである。

【0108】実施形態1では、物体光側の基準波面作成ユニット3におけるレンズの位置調整によって主に動径Rの4乗の項の収差である球面収差を発生させる場合を説明した。しかし、実際の非球面は、このような動径Rの4乗の項のみで表わしきれるものではなく、より高次の項の導入も必要となる場合がある。レンズ32の位置調整だけで動径Rの6乗以上の高次の収差を自由に制御し、非球面の基準波面とすることが難しい場合がある。

【0109】そこで、本実施形態2では実際の非球面に存在する高次の形状を有する収差を発生させるため、アルバレズレンズ31を利用している。

【0110】以下にアルバレズレンズ31について説明する。

【0111】アルバレズレンズ31は図9に示すように同一形状の2枚組のレンズ31a1、32a2で、 $f(x, y)$ で示される非球面形状をした面が対抗して近接して配置されたものである。2枚のレンズ31a1、32a2の相対ずれがゼロである場合には、アルバレズレンズ31は平行平板と同じ働きをする。 $f(x, y)$ の形を適当に選択すれば2枚のレンズ31a1、32a2の一方を光軸Oa方向と垂直のy方向に $\Delta$ 、他方を $-\Delta$ 駆動することにより高次の収差を自由に発生させることができる。例えばy方向にずらして6乗の特性を出すアルバレズレンズの形状 $f(x, y)$ は、 $f(x, y) = a(x^6y + y^7)/7$

とすると、互いに $\pm\Delta$ だけy方向にずれたアルバレズレンズの透過波面 $W(x, y)$ は、硝材の屈折率をnとすると、

$$W(x, y) \approx 2a\Delta(n-1)(x^6 + y^6)$$

となり、ずらし量 $\Delta$ に比例した波面を形成させることができる。ずらし量 $\Delta$ を説明したようにプラスとマイナスに対称に構成すると、ずらし量 $\Delta$ の偶数次の項が消えてずらし量 $\Delta$ の非線形の効果を抑えることができる。発生する収差の量はずらし量 $\Delta$ を制御することによって調整することができる。

【0112】アルバレズレンズ31を特徴付ける非球面形状 $f(x, y)$ を理想的に作ることは困難であるため、製作誤差をキャリブレーションする必要がある。キャリブレーションの際には球面収差の場合と同じく基準状態と素性のわかっている基準面を用いて、測定を行いオフセット量を計算する。オフセット量は $f(x, y)$ の誤差、ずらし量 $\Delta$ から発生する非線形効果等も含めて補正する。またアルバレズレンズの位置は位置検出素子を各アルバレズレンズに装着して検出を行う。

【0113】ここで説明したのは波面の動径Rの6乗の項の説明であったが、更に8乗の項、10乗の項も別のアルバレズレンズを挿入することによって制御することができる。挿入すべきアルバレズレンズの数は対象となる非球面の形状によって異なる。図9では31が動径Rの6乗の項を発生させるアルバレズレンズに対応している。

【0114】以上のように本実施形態2によって、参照光側に弾性変形ミラー21を用い、物体光側に基準波面発生ユニット3を用い、両者の非球面波面を調整することによって、被検面5の非球面形状を測定するものであって、特に物体光側の基準波面作成ユニット3では球面収差を発生することにより主に動径Rの4乗(正確には高次も発生する)、さらにアルバルツレンズ31を用いて動径Rの6乗の波面を作成し、参照光側の弾性変形ミラー21では高次(動径Rの8乗以上)の波面を作成することによって、種々の非球面測定を可能にすることが出来るのである。

【0115】この参照光側において、弾性変形ミラー21での高次(動径Rの8乗以上)の波面作成の際は、実施形態1と同様に、基準面位置に配置した原器22と弾性変形ミラー23を用い、2つの弾性変形ミラー21、23を交互に変形させることで、最終的に弾性変形ミラー21から所望の波面を作成する。

【0116】[実施形態3] 図10は本発明の実施形態3の要部概略図である。

【0117】本実施形態の基本的な構成は実施形態1、2と同じで、参照光側に弾性変形ミラー21を用い、物体光側に基準波面発生ユニット3を用い、両者で作成した非球面波面を用いて被検面5の非球面形状を測定するものである。特に本実施形態3は物体光側に2つのアル

バレルズレンズ31a、31bを用いたことを特徴としている。尚、実施例2と同様に、挿入するアルバレルズレンズの数は、対象となる非球面形状によって異なる。

【0118】本実施形態では、基準波面作成ユニット3で球面収差を発生することにより主に動径Rの4乗以上に比例する球面収差の発生量を制御し、さらにアルバレルズレンズ31aが動径Rの6乗に比例する収差、もう1つのアルバレルズレンズ31bが動径Rの8乗に比例する波面を作成し、参照光側の弾性変形ミラー21では動径Rの10乗以上の高次の波面を作成することによって、種々の非球面測定を可能にしている。アルバレルズレンズ31a、31bの基準位置は実施形態1と同じくレンズ32、33とコリメータ4、基準球面を用いて、同じような基準状態を実現した上でアルバレルズレンズを挿入していったオフセットを求めることができる。

【0119】この参照光側において、弾性変形ミラー21での高次(動径Rの10乗以上)の波面作成の際は、実施形態1と同様に、基準面位置に配置した原器22と弾性変形ミラー23を用い、2つの弾性変形ミラー21、23を交互に変形させることで、最終的に弾性変形ミラー21から所望の波面を作成する。

【0120】〔実施形態4〕図11は本発明の実施形態4の要部概略図である。

【0121】本実施形態の基本的な構成は実施形態1、2と同じで、参照光側に弾性変形ミラー21を用い、物体光側に基準波面発生ユニット3を用い、両者の非球面波面を用いて、被検面5の非球面形状を測定するものである。本実施形態は物体光側のアルバレルズレンズ31aに動径Rの4乗の収差発生を负担させている。

【0122】本実施形態ではレンズ33が平行光を収差なく結像させる機能を持っている。図中、アルバレルズレンズ31aが動径Rの4乗に比例する球面収差の発生量を制御する。アルバレルズレンズの基準位置は実施形態1と同じくレンズ32、33とコリメータ4、基準球面を用いて、同じような基準状態を実現した上でアルバレルズレンズ31aを挿入していったオフセットを求めることができる。

【0123】そして、参照光側に配置した弾性変形ミラー21を用いることによって、物体光側のアルバレルズレンズ31aで発生しない動径Rの6乗以上の高次項に比例する収差の発生を行う。

【0124】この参照光側において、弾性変形ミラー21での高次(動径Rの6乗以上)の波面作成の際は、実施形態1と同様に、基準面位置に配置した原器22と弾性変形ミラー23を用い、2つの弾性変形ミラー21、23を交互に変形させることで、最終的に弾性変形ミラー21から所望の波面を作成する。

【0125】以上の各実施形態の干渉計のうちの1つを用いて作成された光学素子を第1の物体(レチクル)上に形成されたパターンを第2の物体(ウエハ)上に結像

させて露光する投影露光装置における投影光学系に用いている。

【0126】これによって高い光学性能の投影光学系の製造を容易にしている。

【0127】以上述べたように本実施形態によれば、参照光側に原器と2枚の弾性変形ミラーを配置し、物体光側の基準波面発生ユニットを配置し、両者によって波面を調整して合成するため、種々の基準波面を作成することができる。

【0128】また、装置自体が基準となるため、原器として装置を使うことができる。更に本実施形態は基準として発生させる波面を高精度に可変制御できるため、様々な非球面を測定に対応することができ、極めて汎用性が高い。汎用性があるにも拘らず干渉計測法であるために球面を測定するのと同じ精度で非球面も測定することができる。

【0129】本実施形態によれば、従来の設計値としては存在したが実際には加工が困難であった非球面光学素子も製作することができる。又、EUVのように精度が厳しい上に、使うことのできる枚数が限られている光学系で、従来、実際には加工計測上の観点から適用することのできなかった範囲にある非球面を持つ光学素子を利用でき、装置構成上多大なメリットがある。

【0130】又、本実施形態によればEUVだけでなく従来のUV、DUV、VUV領域の露光装置における非球面にも適用することができる。非球面を用いることにより光学系のフレキシビリティが増したことで、半導体露光装置に対して大きな効果をもたらすことができる。

【0131】また、本実施形態による非球面の応用は半導体露光装置だけでなく、他の光学装置にも同様に適用することができる。

【0132】

【発明の効果】本発明によれば、非球面の面形状を球面と同じ精度で測定が可能で、かつ種々の面形状の測定に適切に対応できる干渉計及びそれを用いられた光学素子を用いた半導体露光装置を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の非球面測定の干渉計の実施形態1の要部概略図

【図2】 図1の変形ミラーの概要図

【図3】 図1の一部分の弾性変形量モニター干渉計の説明図

【図4】 図1の参照面である弾性変形ミラーの形状制御の説明図

【図5】 図1の基準面位置において、複数の原器から選択する場合の説明図

【図6】 図1において球面収差の発生を示す説明図

【図7】 図1において種々の球面収差を発生する為の説明図

【図8】 本発明の非球面測定の干渉計の実施形態2の

## 説明図

【図9】 図8のアルバレスレンズの原理説明図

【図10】 本発明の非球面測定の干渉計の実施形態3の要部概略図

【図11】 本発明の非球面測定の干渉計の実施形態4の要部概略図

【符号の説明】

11, 12, 13 ビームスプリッタ

21 参照面位置の弾性変形ミラー

22 基準面位置の原器

23 基準面位置の弾性変形ミラー

3 基準波面発生ユニット

32, 33 レンズ

4 コリメータ

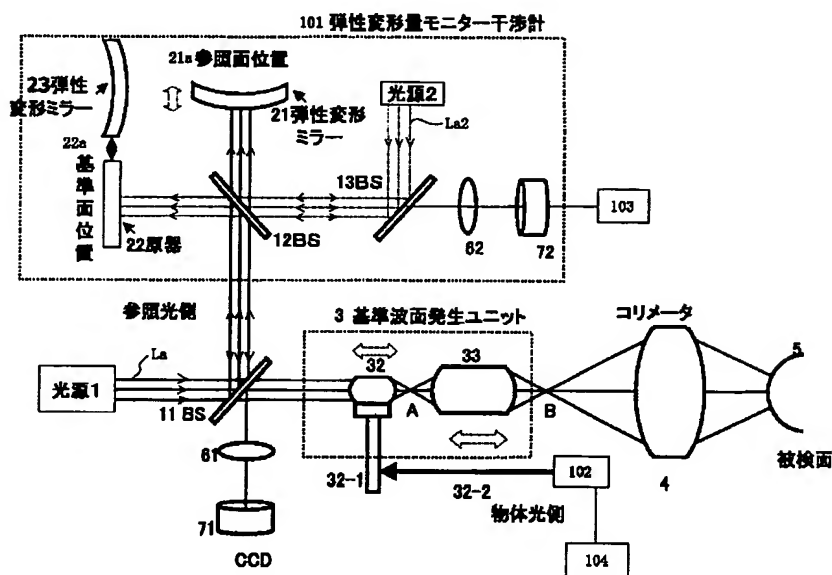
5 被検物体

61, 62 結像レンズ

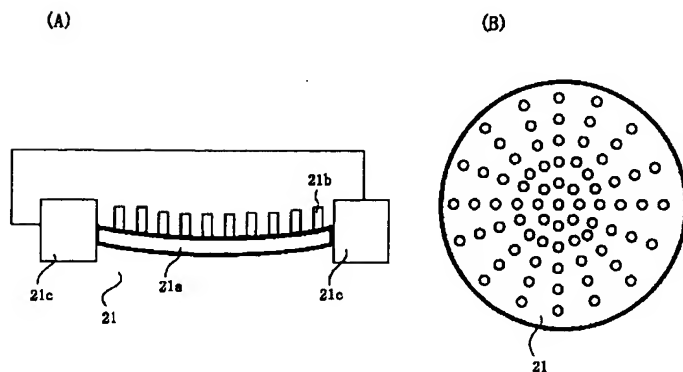
71, 72 CCD

31a, 31b アルバレスレンズ

【図1】

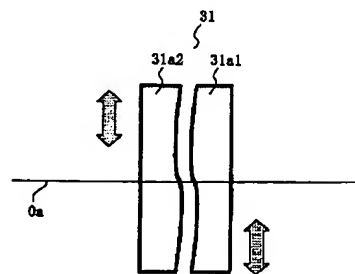


【図2】

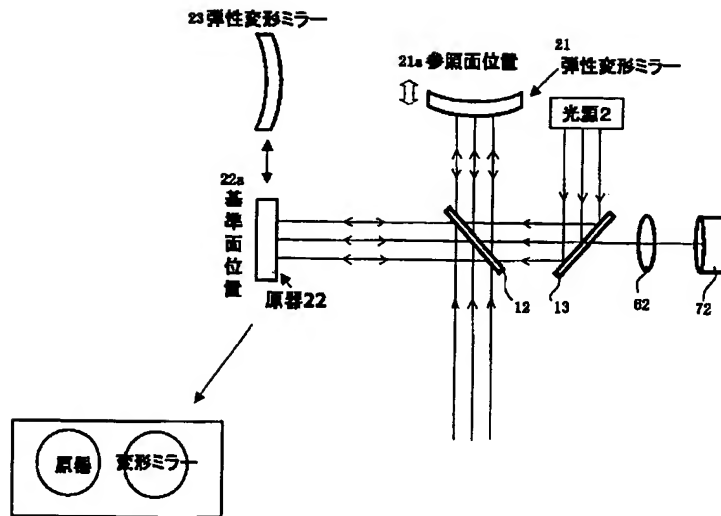


【図9】

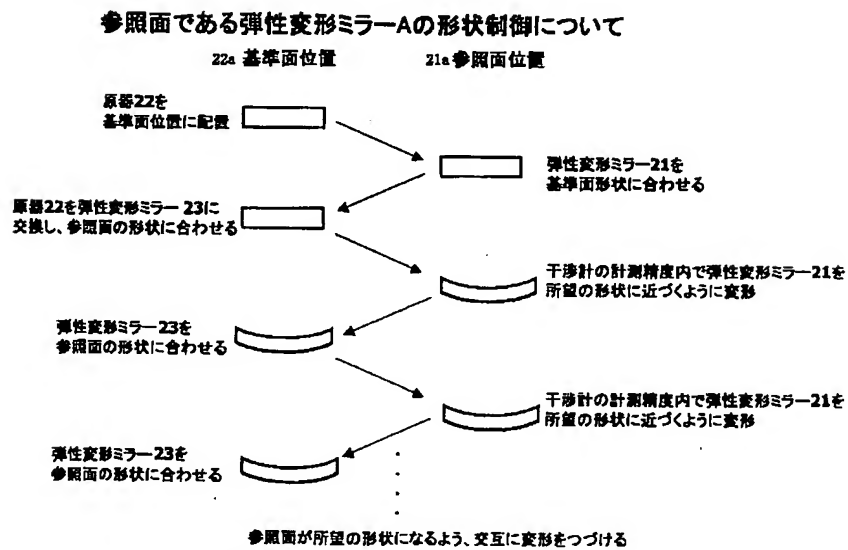
アルバレスレンズの原理図



【図3】

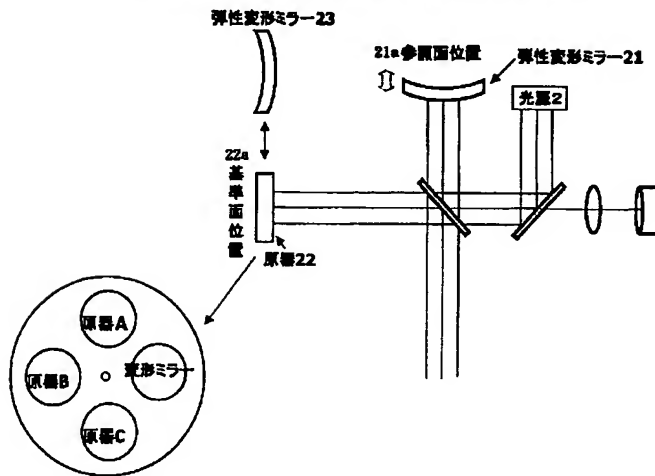


【図4】



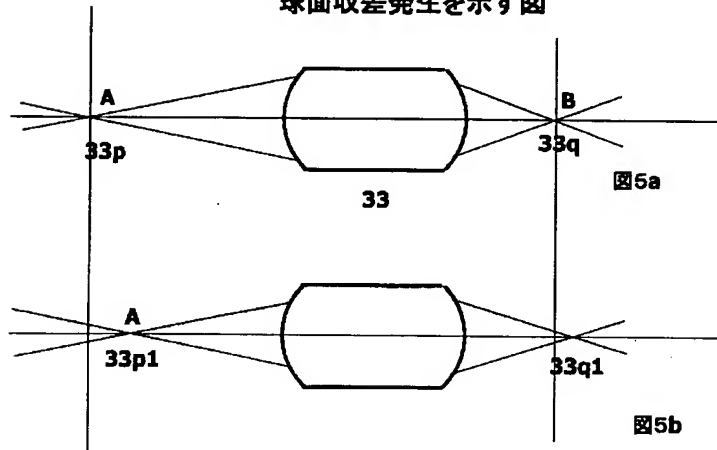
【図5】

基準面位置において、複数の原器から選択する場合



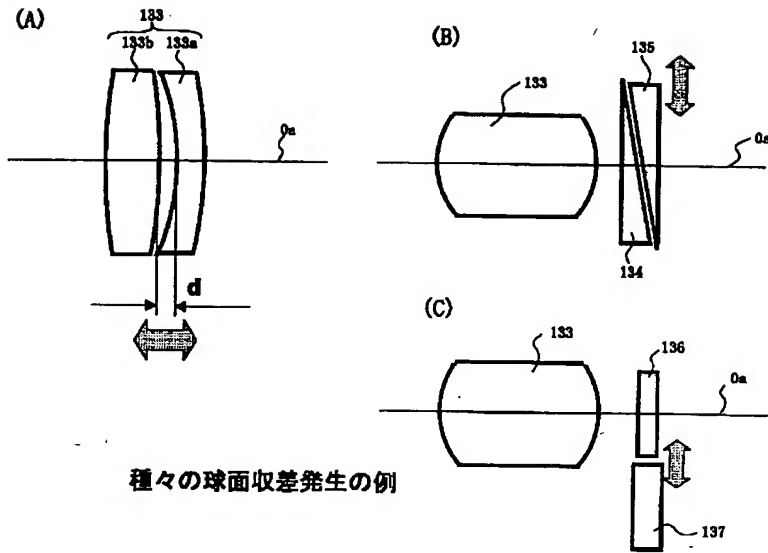
【図6】

球面収差発生を示す図

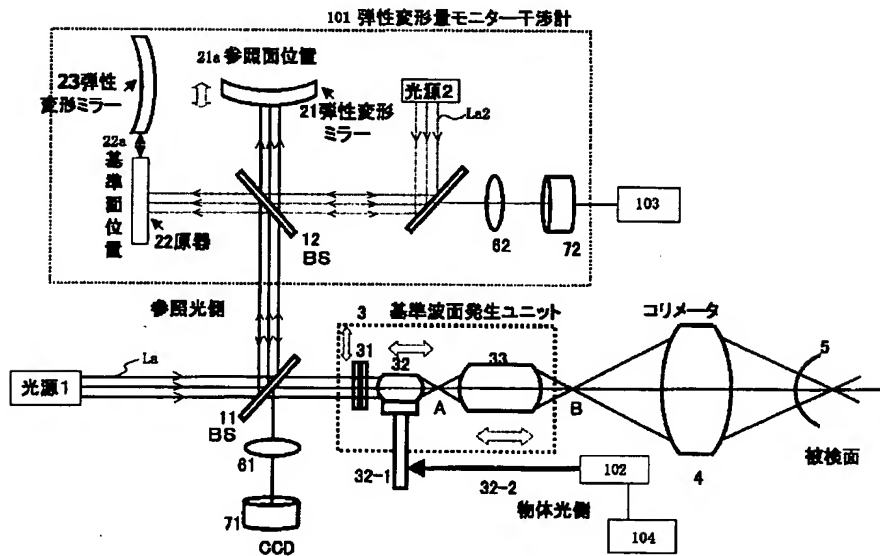




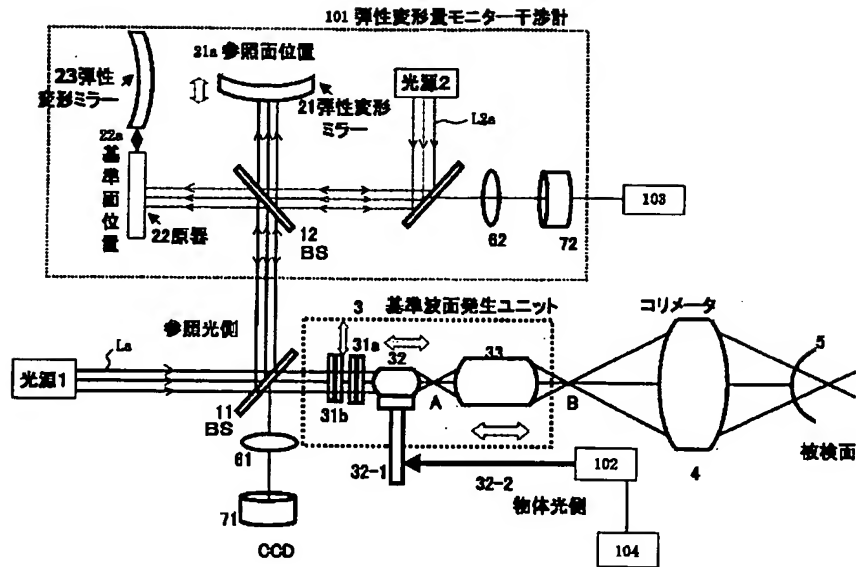
【図7】



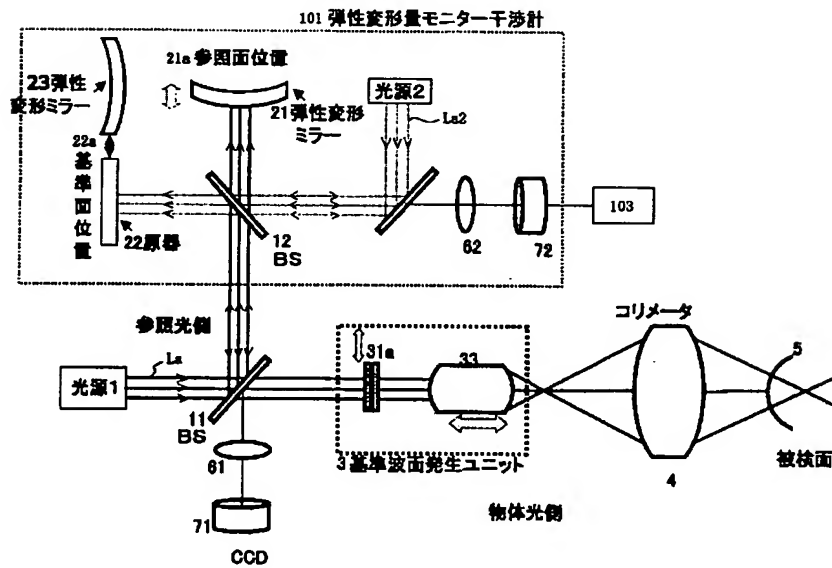
【図8】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 齊藤 謙治  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

Fターム(参考) 2F064 AA00 AA09 CC04 EE02 FF02  
GG11 GG22 GG70 HH03 HH08  
2G086 FF01  
2H041 AA12 AB12 AB38 AC04 AC08  
AZ00 AZ05  
2H042 DD13 DE09